

RapidEye 위성영상을 이용한 청주시의 불투수면지도 생성기법 Impervious Surface Mapping of Cheongju by Using RapidEye Satellite Imagery

박흥련* · 최재완** · 최석근***

Park, Hong Lyun · Choi, Jae Wan · Choi, Seok Keun

요 旨

많은 연구들은 저해상도 위성영상을 이용하여 불투수면을 생성하며, 광역적인 객체 단위의 불투수면을 생성하는데 효율적인 성과를 이루지 못하고 있는 실정이다. 본 논문에서는 RapidEye 위성영상을 활용한 객체 기반의 불투수면 생성 기법을 제안하였으며, 이를 실험지역에 적용하고자 하였다. 분광반사율로 변환된 RapidEye 위성영상을 활용하여 추가적인 밴드를 생성하였으며, 훈련자료를 이용하여 그림자 및 수계 클래스를 추출하였다. 해당 클래스를 제외한 나머지 클래스들은 환경부의 중분류 토지피복지도와 분광혼합분석 모델을 활용하여 피복단위의 불투수 비율 영상을 생성하였다. 참조자료와의 정량적 비교평가를 통하여 본 연구에서 적용한 불투수면 생성 방법의 효용성을 검증하였다.

핵심용어 : 분광혼합분석, 불투수면 지도, 토지피복지도, RapidEye 위성영상

Abstract

Most researches have created the impervious surface map by using low-spatial-resolution satellite imagery and are inefficient to generate the object-based impervious map with a broad area. In this study, segment-based impervious surface mapping algorithm is proposed using the RapidEye satellite imagery in order to map impervious area. At first, additional bands are generated by using TOA reflectance conversion RapidEye data. And then, shadow and water class are extracted using training data of converted reflectance image. Object-based impervious surface can be generated by spectral mixture analysis based on land cover map of Ministry of Environment with medium scale, in the case of other classes except shadow and water classes. The experiment shows that result by our method represents high classification accuracy compared to reference data, quantitatively.

Keywords : Spectral Mixture Analysis, Impervious Surface Mapping, Land-cover Map, RapidEye Satellite Image

1. 서 론

센서 및 컴퓨터 하드웨어 등이 급속도로 발전함에 따라서, 인공위성을 이용한 원격탐사는 도시, 토목, 환경, 농업, 국방 등 다양한 분야에 적용되고 있으며, 지리정보시스템(GIS; Geographic Information System)의 기본 자료를 구축하기 위하여 활용되고 있다.

특히, 저탄소 성장 정책의 중요성이 부각됨에 따라서,

넓은 지역에 대한 자료를 빠르게 취득할 수 있는 원격탐사 기법들을 활용하여 환경영향 분석을 위한 기초 자료들을 생성하기 위한 연구가 다양하게 이루어지고 있다. 이러한 연구 분야 중에서, 도시화의 양상 및 산림지역의 세부정보 추출, 홍수 및 재난/재해 분석을 위하여 지표면의 피복 및 토지이용과 같은 기본환경정보를 추출하는 것은 매우 중요하다. 이러한 기본환경정보들을 생성하기 위해서는 지표면에 대한 불투수면(impervious

data received: 2014.02.05, data revised: 2014.03.07, data accepted: 2014.03.11

* 정회원 · 한국해양과학기술원 부설 극지연구소 극지원격탐사연구실 연구원(Member, Researcher, Satellite Remote Sensing Lab, Korea Polar Research Institute, KIOST, parkhonglyun@kopri.re.kr)

*** 교신저자 · 정회원 · 충북대학교 공과대학 토목공학부 조교수(Corresponding Author, Member, Assistant Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, jaewanchoi@chungbuk.ac.kr)

*** 정회원 · 충북대학교 공과대학 토목공학부 교수(Member, Professor, School of Civil Engineering, Chungbuk National University, skchoi@chungbuk.ac.kr)

surface) 지도를 생성하고, 세부 환경지표들을 분석하는 것이 필수적이다. 일반적으로, 불투수면은 건축물, 도로, 교량 등과 같이 물 등의 자연적인 침투를 허용하지 않는 토지 피복 상태를 의미한다(Kim et al., 2008). 불투수면은 도시의 환경변화 등을 분석하기 위한 중요한 지표로 사용되며, 강우 발생 후 유출을 통한 하천의 수위 변화에도 큰 영향을 미치는 요인 중 하나이기 때문에, 수리·수문학 등과 같은 토목분야에서도 다양하게 활용된다. 국내의 경우에는 Sakong(2003), Cho and Jeong(2005), Kim et al.(2007) 등이 원격탐사 자료의 분류기법과 분광혼합분석(spectral mixture analysis) 등을 이용하여 탄천구역, 안성지역 등에 대한 불투수면을 추정하였다. 그러나, 국내의 많은 연구들은 기존 원격탐사 자료의 분류기법을 그대로 적용하였으며, 사용데이터의 경우에도 공간해상도 30m의 LANDSAT ETM+ 영상들을 사용한 경우가 대부분이기 때문에, 고해상도의 정밀한 결과물을 얻을 수 없다는 문제점을 지닌다. 한편, 환경부에서 배포하고 있는 토지피복지도의 경우에도 클래스별로 투수 유무가 표현되며, 이를 이용하여 불투수면 지도로 직접적인 변환이 가능하다. 그러나, 피복지도의 갱신주기의 한계 때문에 최신의 자료를 획득하기 어려운 문제를 가진다. 국외의 대부분의 연구들도 다양한 파장대의 정보를 얻을 수 있는 LANDSAT ETM+ 영상을 이용하여 이루어지고 있다. Lu et al. (2006)은 해당 지역을 식생, 토양, 높은 불투수면(high impervious), 낮은 불투수면(low impervious) 등의 항목으로 구분하여 불투수면을 생성하였다. 또한, 최근 들어 1m 내외의 공간해상도를 가지는 IKONOS, QuickBird-2와 같은 고해상도 위성영상을 활용하여 해당 지역 내의 불투수면과 환경적 특성을 분석하고자 하는 연구들도 진행되었다. Cablk and Minor(2003)은 주 성분분석(principal component analysis)과 모폴로지 분석(morphological analysis)을 이용하여 고해상도의 불투수면 지도를 생성하였으며, Zhang et al.(2009)는 NDBI(Normalized Difference Building Index)를 이용하여 불투수면의 확률 분포 지도를 작성하고, 이를 온도 분포와 결합하여 해당 지역의 환경영향을 분석하였다. Hese et al.(2011)은 TerraSAR-X, RapidEye, DSM(Digital Surface Model) 자료 등을 통합적으로 활용하여 분류기반의 불투수면 지도를 생성하는 방법을 제안하였다. 또한, Lu and Weng(2009), Tooke et al.(2009) 등은 decision tree와 혼합분광분석(spectral mixture analysis) 등과 같은 알고리즘을 IKONOS와 같은 고해상도 위성영상에 적용하여 해당 지역의 불투수면을 추출하기도 하였다. 그러나, 고해상도 영상을

기반으로 하는 기법들은 판독 기반의 기법 혹은 많은 임계치가 필요하다. 또한, 해당 지역의 지표특성을 불투수면과 식생 등으로 국한시켜 분석한 단점을 지닌다.

본 연구에서는 광역지역을 효과적으로 촬영할 수 있는 RapidEye 위성영상에 적합한 불투수면 생성방법을 제안하고자 한다. 특히, 환경부의 중분류 토지피복도 기준으로 하는 공간해상도 6.5m급의 토지피복 경계에 대한 불투수 비율 지도를 생성하여, 지표특성을 불투수면과 식생 등으로 간략하게 구분하는 기존의 고해상도 영상을 이용한 불투수면 생성 방법의 정확도를 보완하고자 하였다. 이를 위해, 2종류의 추가적인 밴드를 생성하였으며, 이들을 활용하여 그림자 및 수계지역을 추정하였다. 최종적으로 그림자 및 수계지역을 배제한 지역들에 대하여 환경부 토지피복지도의 피복경계 자료를 활용하여 경계단위의 불투수면 지도를 생성하였으며, 기존자료와의 정량적 비교평가를 통하여 본 연구의 효용성을 검증하였다. 논문의 내용은 다음과 같다. 2장에서는 실험에 사용된 자료 및 대상지역을 설명하였으며, 3장에서는 본 논문에서 수행한 방법론을 설명하였으며, 4장은 제안한 방법론에 대한 적용결과를 분석하였다.

2. 연구 자료 및 대상지역

2.1 사용 데이터

본 연구에서는 불투수면 지도를 생성하기 위하여 독일의 RapidEye 위성영상을 이용하였다. RapidEye는 German Aerospace Center에서 2008년 8월 29일 발사한 위성으로, 총 5개의 위성이 지구를 관측하며, 약 5~6일의 짧은 주기해상도를 가진다. 또한, 77km의 넓은 관측 폭을 지니고, 식생분석 등에 용이한 Red Edge 밴드를 가지고 있기 때문에, 많은 활용가능성을 지닌다. 위성의 세부적인 제원은 Table 1과 같다.

2.2 대상 지역

본 연구에서 제안한 불투수면 지도 생성방법을 적용

Table 1. Specifications of the RapidEye Satellite

Spatial resolution	6.5m
Spectral resolution	Blue : 440-510nm
	Green : 520-590nm
	Red : 630-685nm
	Red Edge : 690-730nm
	NIR : 760-850nm
Radiometric resolution	16 bits
Swath width	77km

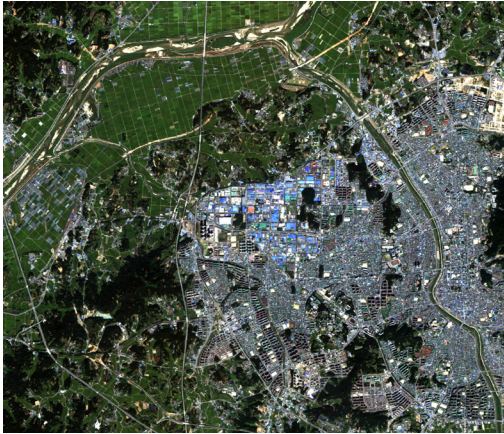


Figure 1. Study area

하기 위하여 2011년 9월 22일에 촬영된 충청북도 청주시 지역의 영상을 사용하였다(Fig. 1). 청주지역은 불투수면인 도심지를 중심으로 하여 무심천 유역이 도심지 내에 존재하며, 외곽에는 산림과 농경지가 분포하는 다양한 토지피복을 가지고 있는 지역이기 때문에 실험지역으로 선정하였다.

실험 평가 및 분석을 위하여 2009년에 작성된 환경부의 중분류 토지피복지도 2도엽을 참조자료로 활용하였으며, 해당 위성영상은 기하보정(registration)을 통하여 토지피복지도와 동일한 좌표체계를 가지도록 조정하였다.

3. 연구 방법

본 연구에서 제안된 불투수면 지도 생성 기법은 크게 두 단계로 이루어진다. 위성영상 DN(Digital Number) 값의 분광반사율(reflectance) 변환과정과 실험에 사용할 추가적인 밴드를 생성하는 전처리 과정 부분과 토지

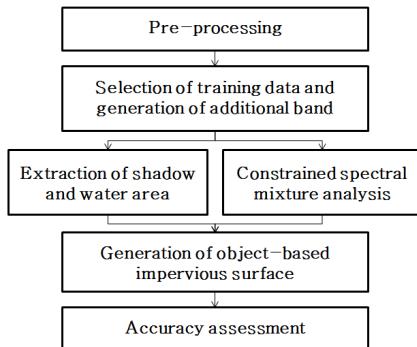


Figure 2. Workflow

피복경계 기반의 불투수면 지도 생성 부분으로 이루어진다. 세부적인 내용은 다음과 같다. 연구의 전체적인 흐름도는 Fig. 2와 같으며, 세부적인 내용은 다음과 같다.

3.1 전처리 과정

3.1.1 좌표등록

대상 지역의 영상은 환경부의 중분류 토지피복지도를 기준으로 기하보정 과정이 적용되었다. 다항식 (polynomial) 방법을 이용하여 WGS84 타원체를 기준으로 하는 동일한 지역의 위성영상과 토지피복지도를 생성하였다.

3.1.2 분광반사율로의 변환

분광혼합분석 모델을 적용하기 위하여, 우선적으로 영상의 DN 값을 분광반사율로 변환하였다. 이를 위하여 센서 고유의 제원 및 특성을 입력변수로 활용하여 영상의 DN값을 대기 상층의 반사율(Top of Atmospheric reflectance; TOA reflectance)로 변환하였다. 이를 위한 식은 식 (1), (2)와 같다(RapidEye AG, 2010).

$$RAD(i) = DN(i) \times ScaleFactor(i) \quad (1)$$

$$REF_{TOA}(i) = \frac{RAD(i) \times \pi \times SunDist}{EAI(i) \times \cos(SolarZenith)} \quad (2)$$

여기서, $RAD(i)$ 는 영상의 i 번째 밴드의 복사휘도(radiance), $ScaleFactor(i)$ 는 복사휘도의 변환을 위한 계수, $SunDist$ 는 지구와 태양사이의 거리, $EAI(i)$ 는 외기권 방사조도(exo-atmospheric irradiance), $SolarZenith$ 는 태양 천정각(solar zenith angle), $REF_{TOA}(i)$ 은 영상의 i 번째 밴드에 대한 대기 상층의 반사율을 의미한다(RapidEye AG, 2010). 식 (1), (2)를 통하여 생성된 대기 상층의 분광반사율은 산란, 흡수 등에 의한 대기효과가 보정되지 않은 분광반사율이다. 대기 상층의 반사율을 대기 영향이 제거된 지상의 분광반사율로 변환하기 위하여 ENVI 원격탐사 상용소프트웨어에서 제공하는 QUAC(QUick Atmospheric Correction) 기법을 이용하였다(Bernstein et al., 2012). QUAC은 분광 라이브러리(spectral library)에 존재하는 순수 물질(endmember)에 대한 데이터베이스(database)와 영상자료 사이의 비교평가를 이용하여 경험적으로 영상의 지상 분광반사율을 추정하는 기법이다. FLAASH(Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes), ATOCR(ATMospheric CORrection)와 같은 일반적인 대기보정기법들은 센서

의 물리적인 특성과 촬영당시의 다양한 사전정보들이 필요한 반면, QUAC은 영상 자체의 특성과 물체들의 분광반사율을 이용하여 처리하기 때문에 영상의 사전 정보가 필요치 않으며, 기존의 대기보정 기법들과 비교하여 효과적인 성능을 나타낸다고 알려져 있다 (Bernstein et al., 2012). QUAC 기법의 적용을 거쳐 생성된 영상은 0~1사이의 값을 가지는 반사율 자료로 변환되며, 이를 기반으로 하여 본 연구에서 제안한 알고리즘을 적용하였다.

3.1.3 훈련자료의 추출 및 추가 밴드의 생성

우리나라에서 구축된 토지피복지도에서 분류된 토지 피복의 종류는 시가화 건조지역, 산림, 농업지역, 초지, 수역, 나지, 습지의 7개 클래스(class)로 구분하고 있다. 토지피복지도의 분류체계와 RapidEye 위성영상의 공간해상도를 고려하여, 본 연구에서는 지표면상에는 도심지역을 포함한 불투수면, 산림, 논/밭과 같은 초지, 수계, 나지, 도심지역에 존재하는 그림자의 총 6개 물질이 존재한다고 가정하였다. 그러나, RapidEye 위성 영상 내의 그림자와 수계지역은 나머지 4개의 지표물 질들과 비교하여 매우 낮은 분광반사율을 지니지만, 그림자와 수계지역은 상호 유사한 분광 반사율 특성을 지닌다. Table 2와 Fig. 3은 분광반사율로 변환된 RapidEye 위성영상에서 추출한 훈련자료(training data)의 클래스 별 화소수와 불투수면 훈련자료의 예, 해당 클래스 별 분광반사율의 평균값을 나타낸 것이다.

Fig. 3에서 확인할 수 있는 것과 같이, 그림자 및 수계지역은 유사한 분광반사율 특성을 보이며, 불투수면 지역은 그림자 및 수계지역과 비교하여 경향은 유사하지만 반사율의 크기에서만 차이를 나타낸다. 또한, 산림과 초지 지역도 분광반사율의 경향성은 유사한 특성을 보인다. 따라서, 해당 6개의 클래스를 직접적으로 분광혼합모델에 적용할 경우, 각 피복특성이 명확하게 구분되지 않을 수 있기 때문에 본 연구에서는 클래스 간의 특성을 강조시킬 수 있는 부가적인 영상자료들을 식 (3), (4)를 이용하여 생성하였다.

Table 2. training data specification corresponding to each class

class	polygons	pixels
impervious	73	11,512
forest	16	6,806
paddy	33	8,348
ground	23	2,814
water	11	2,937
shadow	52	1,695

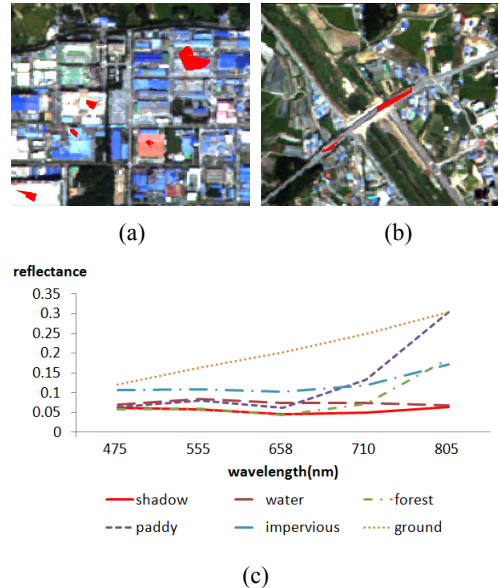


Figure 3. training sample example of impervious map ((a), (b)) reflectance value of each class in RapidEye image ((c))

$$Ratio_{B1B2} = \frac{Blue}{Green} \quad (3)$$

$$RNDVI = \frac{NIR - Red\ Edge}{NIR + Red\ Edge} \quad (4)$$

여기서, *Blue*, *Green*, *Red Edge*, *NIR*은 Rapideye 위성영상의 1, 2, 4, 5번째 밴드를 나타낸다. $Ratio_{B1B2}$ 는 그림자와 수계지역 간의 차이를 강조하기 위하여 인위적으로 생성한 밴드이며, $RNDVI$ 는 불투수면과 식생지역의 차이를 강조하기 위하여 생성된 밴드이다. 식생지역의 구분을 위해서는 일반적으로 $NDVI$ 를 사용하지만, Rapideye 위성영상은 식생 구분에 유용한 *Red Edge*를 지니고 있기 때문에, 본 연구에서는 $RNDVI$ 를 추가하여 적용하였다. Fig. 4, 5는 식 (3), (4)에 의하여 생성된 영상의 예를 나타낸 것이다. Fig. 4, 5에서 확인할 수 있는 것과 같이, $Ratio_{B1B2}$ 자료 내에서는 수계지역에 비하여 그림자 지역들이 밝은 값으로 나타나고, $RNDVI$ 에서는 산림 지역 등과 비교하여 불투수면 지역들이 낮은 값들을 가지기 때문에, 토지피복 구분에 있어서 RapidEye 영상의 분광반사율 특성을 보완해줄 수 있을 것으로 판단하였다.

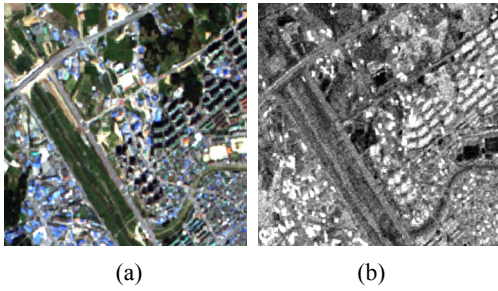


Figure 4. 1st example of additional band: (a) RGB composite of Rapideye, (b) $Ratio_{B1B2}$ image

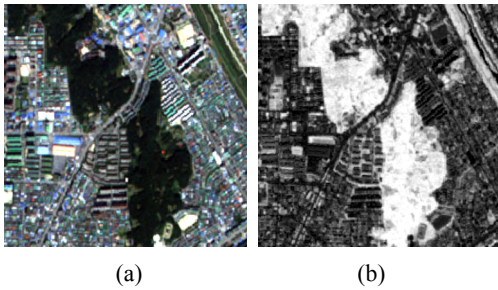


Figure 5. 2nd example of additional band: (a) RGB composite of Rapideye, (b) $RNDVI$ image

3.2 불투수면 추출 방법

본 연구에서는 불투수면을 추출하기 위하여, 그림자와 수계지역을 임계치 분석을 통하여 1차적으로 분류하였으며, 나머지 4개의 지역은 분광혼합모형을 통하여 분석하였다. 세부적인 내용은 다음과 같다.

3.2.1 그림자 및 수계지역의 추출

3.1.3에서 설명한 것과 같이 그림자 및 수계지역은 타 클래스들과 비교하여 상대적으로 낮은 분광반사율을 지니며, 유사한 특성을 가지고 있기 때문에, 분광혼합모형 분석에 있어서 노이즈 등의 자료로 오분류될 수 있다. 또한, 영상 내에 존재하는 그림자의 경우, 투수/불투수의 유무를 판단하기 어려운 문제를 지닌다. 따라서, 본 연구에서는 임계치를 통하여 그림자와 수계지역을 1차적으로 추출한 후에 불투수면을 추출하고자 하였다. 그림자와 수계지역을 추출하기 위한 임계치는 그림자와 수계지역 클래스의 분광반사율정보에 decision tree 알고리즘을 적용하여 추출하였다. Decision tree 알고리즘은 의사결정규칙을 나무구조로 도표화하여 각 클래스의 이진 분리를 반복하여 분류와 예측을 수행하는 대표적인 기법이다(Kim et al., 2008). RapidEye 영상의 5밴드와 3.1.3에서 생성한 2개의 추가밴드에

decision tree 기법을 적용하였으며, 훈련자료를 이용하여 추출된 임계치를 전체 영상에 적용하여 그림자 및 수계지역에 대한 토지피복영상을 생성하였다. 한편, 임계치를 이용한 그림자 및 수계지역의 추출과정은 화소 단위로 이루어기 때문에, 오분류에 따른 노이즈 등의 문제가 발생한다. 이를 보완하기 위하여 추출된 2개의 클래스 분류 지도에 대하여 sieve 필터를 적용하여, 화소 단위 처리의 영향을 최소화하였다.

3.2.2 분광혼합모형을 통한 불투수지역 추정

3.2.1에서 추출된 그림자 및 수계지역을 제외한 불투수면 지역, 산림, 초지, 나지 지역들은 분광혼합모형을 적용하여 추정하였다(Park et al., 2013). 분광혼합모형은 원격탐사 분야에서 사용되는 대표적인 화소 이하(sub-pixel) 단위의 분석방법이다. 위성영상 내의 임의의 화소값의 분광반사율은 영상 내 고유물질(endmember)들의 분광반사율에 대한 선형비율조합으로 구성할 수 있다는 가정을 이용하여 화소 내 물질 비율 영상(abundance map)을 생성하는 대표적인 방법이다. N 개의 밴드를 가지는 영상 내에 M 개의 고유물질들이 분포한다고 가정한다면, 분광혼합모형은 식 (7)로 구성된다(Chang and Heinz, 2000).

$$R_{(i,j)} = \sum_{k=1}^M E_k f_{k(i,j)} + e \quad (7)$$

여기서, $R_{(i,j)}$ 는 영상의 (i,j) 번째 화소의 분광반사율, E_k 는 k 번째 endmember의 분광반사율, $f_{k(i,j)}$ 는 (i,j) 번째 화소에 대한 k 번째 endmember의 비율, e 는 오차를 의미한다. $f_{k(i,j)}$ 는 $R_{(i,j)}$ 과 마찬가지로 k 개의 밴드를 지니는 영상으로 표현할 수 있으며, $N > M$ 인 경우에 최소제곱법(least square method)를 이용하여 $f_{k(i,j)}$ 값이 계산된다. 한편, $f_{k(i,j)}$ 는 화소 내에 포함된 물질의 비율을 의미하기 때문에 일반적으로 분광혼합모형의 적용에 있어서 아래의 조건들을 만족해야 한다.

$$0 \leq f_{k(i,j)} \leq 1 \quad (8)$$

$$\sum_{k=1}^M f_{k(i,j)} = 1 \quad (9)$$

식 (8)은 화소내 각 물질의 비율은 음의 값을 가질 수 없음을 나타내며, 식 (9)는 화소 내 모든 물질 비율의 총합은 1이 되어야 한다는 제약조건을 나타낸다. 따라

서, 식 (7)은 식 (8), (9)의 제약조건을 가지는 제약최소 제곱법(constrained least square method)를 통하여 처리된다. 식 (9)의 경우, 행렬 행의 추가를 이용하여 해결할 수 있으며, 식 (8)은 최적화기법 등을 이용하여 수학적으로 최적의 해를 산출할 수 있다. 본 연구에서는 7개의 밴드로 이루어진 영상을 사용하고, 불투수면 추정을 위하여 그림자와 수계지역을 제외한, 불투수면, 초지, 산림, 나지의 4개의 고유물질이 화소 내에 존재한다고 가정하였다. 식 (7)~(9)를 이용하여 불투수면, 초지, 나지, 산림 4개의 물질비율 영상을 생성하였으며, 그림자 및 수계지역은 분광혼합분석에서 제외시켰다. 수계지역에 해당하는 화소는 투수율이 1인 투수지역으로 설정하였으며, 그림자 지역은 최종 불투수면 지도 생성에서 제외되는 화소로 처리하고자 하였다.

3.2.3 피복경계단위 불투수면 지도의 생성

식 (7)을 통하여 생성된 화소단위의 불투수율을 객체단위의 불투수율로 변환시키기 위하여 환경부의 중분류 토지피복지도의 피복경계단위를 사용하였다. 중분류 토지피복지도의 공간해상도는 약 5m이기 때문에 RapidEye 위성영상과 유사한 공간해상도를 가지고 있으며, 대한민국 전 지역에 대하여 제작된 피복지도 중 가장 큰 축척을 지녔기 때문에 선택하였다. 피복경계단위의 불투수면 지도는 중분류 토지피복지도의 경계를 기준으로 구역통계(zonal statistics)를 이용하여 해당 피복경계에 존재하는 모든 화소들의 불투수율에 대한 평균값을 계산하였으며, 이를 통하여 최종적인 불투수면 지도를 생성하였다.

4. 실험 결과 및 분석

4.1 연구 방법의 적용

전처리 과정을 통하여 0~1 사이의 분광반사율로 변환된 영상에 decision tree 기법과 30의 최소그룹 임계

치를 적용한 sieve 필터를 이용하여 생성된 그림자 및 수계지역은 Fig.6 (a), (b)와 같다.

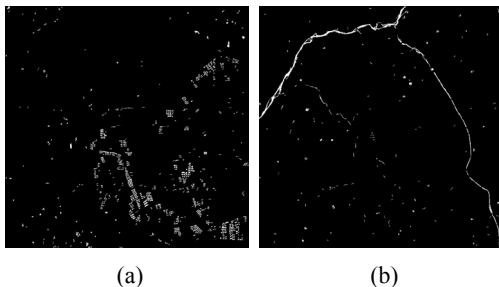
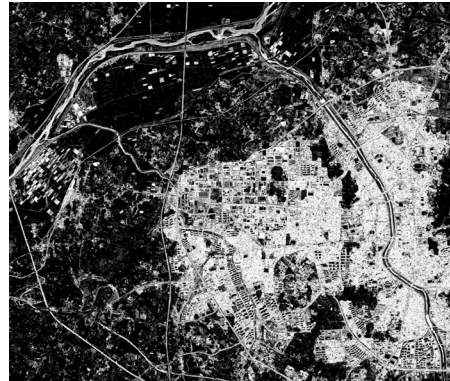
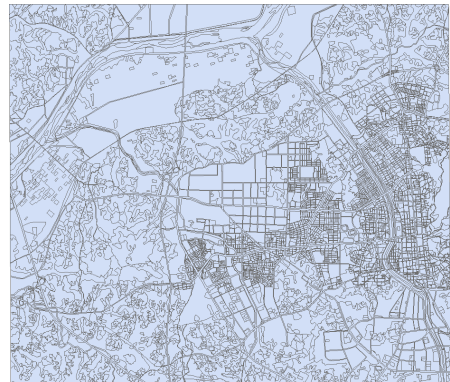


Figure 6. Extraction result of shadow and water class: (a) shadow area, (b) water area



(a)



(b)



(c)

Figure 7. Impervious surface mapping result: (a) pixel-based impervious surface by spectral mixture analysis, (b) polygons based on reference land-cover map with medium scale, (c) object-based impervious surface by zonal statistics

Fig. 6의 그림자 및 수계지역과 함께, 분광혼합분석을 통하여 그림자 지역을 제외한 모든 지형에 대한 추출된 화소 내의 불투수비율을 이용하여 생성된 결과는 Fig. 7(a)과 같으며, Fig. 7(a)에 토지피복지도의 피복경계(Fig. 7(b))를 기준으로 변환된 최종 불투수면 지도는 Fig. 7(c)과 같다. Fig. 7(a)와 7(c)는 0(black)~1(white)의 값을 가지고 있으며, 1에 가까울수록 완전한 불투수면이라는 것을 나타낸다.

4.2 결과 분석

본 연구에서 적용된 불투수면 지도 생성 기법의 효용성을 검증하기 위하여 시각적/정량적 평가를 수행하였다. 정량적 평가를 위하여 참조자료로 활용할 수 있는 중분류 토지피복지도의 경우에는 피복단위에 대한 투수유무만을 파악할 수 있지만, 본 연구에서 생성한 불투수면 지도는 피복단위에 대한 불투수율이 표현된다. 따라서, 중분류 토지피복지도와 직접적인 비교평가가

어렵기 때문에 본 연구에서 생성한 불투수 비율 영상에 임계치를 적용하여 강제적으로 불투수/투수의 이진영상으로 변환한 후에 참조자료와의 유사도를 측정하였다. 정량적 평가를 위한 임계치는 0.5를 사용하였으며, 비교평가를 위해서 5밴드의 원 RapidEye 영상에 불투수면, 산림, 초지, 나지의 4개 클래스에 대하여 분광혼합모델을 적용한 후에 생성된 불투수 비율 영상과의 비교평가도 수행하였다. 중분류 토지피복지도와의 유사도 측정결과는 각 기법별로 오차 행렬(confusion matrix)를 생성하여 분석하였으며, 이는 Table 3, 4와 같다. Table 3, 4에서 확인할 수 있는 것과 같이, 본 연구에서 제안한 기법은 원 RapidEye 영상을 사용하여 생성한 불투수면 지도보다 우수한 결과를 보임을 알 수 있다. 특히, 불투수면을 투수면으로 오분류하는 부분에 의한 오차들이 낮아진 것을 확인할 수 있으며, 이는 본 연구에서 제안된 기법이 낮은 분광반사율을 지니는 그림자 지역 등에 의하여 도심지의 불투수면이 투수면으

Table 3. confusion matrix of impervious surface by 5 band

reference \ test	non-impervious (producer's accuracy)	impervious (user's accuracy)	Kappa coefficient
non-impervious	1,759,457 (98.47%)	387,933 (81.93%)	0.696
impervious	27,290 (67.72%)	813,851 (96.76%)	

Table 4. confusion matrix of impervious surface by proposed method

reference \ test	non-impervious (producer's accuracy)	impervious (user's accuracy)	Kappa coefficient
non-impervious	1,753,847 (98.16%)	221,541 (88.78%)	0.818
impervious	32,900 (81.57%)	980,243 (96.75%)	

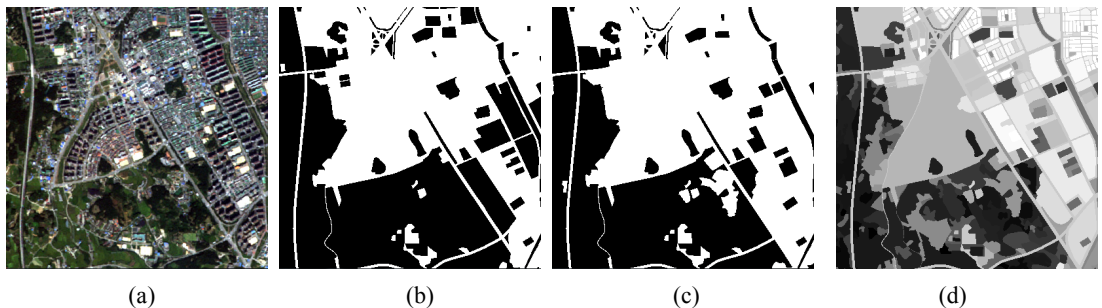


Figure 8. 1st detailed image of impervious surface: (a) RapidEye image, (b) binary image of impervious surface by 5band method, (c) binary image of impervious surface by proposed method, (d) percentage data of impervious surface by proposed method

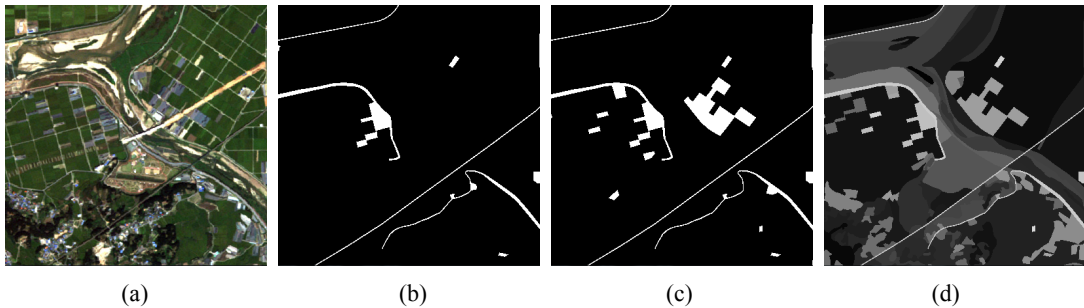


Figure 9. 2nd detailed image of impervious surface: (a) RapidEye image, (b) binary image of impervious surface by 5band method, (c) binary image of impervious surface by proposed method, (d) percentage data of impervious surface by proposed method

로 오분류되는 문제점 등을 최소화하였다는 것을 의미한다. Fig. 8, 9는 생성된 불투수 비율 영상의 세부적인 결과를 나타낸다. Fig. 8에서 확인할 수 있는 것과 같이, 본 연구의 결과는 동일한 도심지 내에서도 식생이나 나지가 존재하는 영역은 낮은 불투수율을 가지며, 주택밀집지역의 경우에는 높은 불투수율을 지니는 것을 확인할 수 있다. 원 RapidEye 영상을 이용한 불투수면 생성 결과는 아파트 단지 등을 투수면으로 분류한 반면에 본 연구의 결과는 불투수면으로 분류되지만, 상대적으로 낮은 불투수값을 가진다. 또한, Fig. 9의 본 연구에 의한 불투수면 생성결과에서, 포장도로와 비닐하우스 지역은 높은 불투수율값을 지니며, 논과 농촌지역은 상대적으로 낮은 불투수율을 나타낸다. 이는 Fig. 9(a)의 원 RapidEye 영상과 유사한 특성을 보인다. 따라서, 본 연구에서 제안한 방법을 이용하여 불투수 비율 지도를 효과적으로 생성할 수 있음을 확인할 수 있다.

5. 결론

본 연구에서는 다양한 분야에 활용할 수 있는 불투수 비율 지도를 생성하기 위하여 분광혼합기법을 활용한 RapidEye 영상의 분석 방법을 제안하였다. RapidEye 영상의 전처리 과정을 통하여 부가적인 밴드를 생성한 후, 그림자 및 수계지역을 1차적으로 추출하였다. 또한, 불투수면, 산림, 초지, 나지의 4개 클래스에 대한 분광혼합분석과 토지피복경계의 구역통계방법을 통하여 청주지역의 피복단위 불투수면 지도를 생성하였다. 해당 기법은 기존기법과 비교하여 우수한 불투수면 생성 결과를 보이며, 이진값이 아닌 비율값을 가지기 때문에 환경, 수자원, 도시계획 등 다양한 분야에 활용할 수 있을 것으로 판단된다. 해당 연구는 청주지역 뿐만 아니라, 다양한 지역의 불투수 비율 영상을 생성하는데

용 가능할 것이다.

감사의 글

이 논문은 2012학년도 충북대학교 학술연구지원사업의 연구비 지원에 의하여 연구되었으며, 중분류 토지피복지도 자료를 제공해주신 환경부 정보화담당관실에 감사의 말씀을 드립니다.

References

- Bernstein, L. S., Jin, X., Gregor, B. and Adler-Golden, S. M., 2012, Quick atmospheric correction code: algorithm description and recent upgrades, *Optical Engineering*, Vol. 51, No. 11, pp. 1-11.
- Cablak, M. E. and Minor, T. B., 2003, Detecting and discriminating impervious cover with high-resolution IKONOS data using principal component analysis and morphological operators, *International Journal of Remote Sensing* Vol. 24 No. 23, pp. 4627-4645.
- Chang, C. I. and Heinz, D. C., 2000, Constrained subpixel target detection for remotely sensed imagery, *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, Vol. 38, No. 3, pp. 1144-1159.
- Cho, H. and Jeong, J., 2005, Estimating impervious surface fraction of Tanchon watershed using spectral mixture analysis, *Korean Journal of Remote Sensing*, Vol. 21, No. 6, pp. 457-468.
- Hese, S., Lindner, M., Voltersen, M. and Berger, C., 2011, TerraSAR-X and RapidEye data for the parameterisation of relational characteristics of urban ATKIS DLM objects, *International Archives of the*

- Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, Volume XXXVIII-4/W19.
6. Kim, S., Heo, J., Yun K. and Sohn, H., 2007, Impervious surface estimation using Landsat-7 ETM+ image in An-sung Area, Korean Journal of Remote Sensing, Vol. 23, No. 6, pp. 529-536.
 7. Kim, S., Heo, J., Heo, J. and Kim, S., 2008, Impervious surface estimation of Jungnangcheon basin using satellite remote sensing and classification and regression tree, Journal of the Korean Society of Civil Engineers, Vol. 28, No. 6D, pp. 915-922.
 8. Lu, D., Weng, Q. and Li, G., 2006, Residential population estimation using a remote sensing derived impervious surface approach, International Journal of Remote Sensing Vol. 27 No. 16, pp. 3553-3570.
 9. Lu, D. and Weng, Q., 2009, Extraction of urban impervious surfaces from an IKONOS image, International Journal of Remote Sensing Vol. 30 No. 5, pp. 1297-1311.
 10. Park, H., Lee, J., Cho, Y., Choi, J. and Choi, S., 2013, A study on method of impervious surface using rapideye image and land cover map in Cheong-ju area, 2013 Conference of The Korean Society for GeoSpatial Information System, pp. 95-96.
 11. RapidEye AG., 2010, RapidEye Image Product Frequently Asked Question (FAQs), v.1.0, pp. 6-7.
 12. Sakong, H., 2003, An empirical study on analysis method of impervious surface using IKONOS image, The Journal of Geographic Information System Association of Korea, Vol. 11, No. 4, pp. 198-208.
 13. Tooke, T. R., Coops, N. C., Goodwin, N. R. and Voogt, J. A., 2009, Extracting urban vegetation characteristics using spectral mixture analysis and decision tree classifications, Remote Sensing of Environment, Vol. 113, pp. 398-407.
 14. Zhang, X., Zhong, T., Wang, K. and Cheng, Z., 2009, Scaling of impervious surface area and vegetation as indicators to urban land surface temperature using satellite data, International Journal of Remote Sensing Vol. 30 No. 4, pp. 841-859.